

Изобретение относится к электротермии и может быть использовано в различных отраслях промышленности, где в процессе термообработки труб применяется индукционный нагрев с последующей закалкой - стальных для повышения прочностных характеристик, циркониевых для обеспечения квазиизотропной мелкозернистой структуры и т.д.

Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа, является устройство непрерывной закалки длинномерных изделий из сплава циркония, которое содержит механизм перемещения изделия в осевом направлении, генератор переменного тока, индуктор, пирометр, блок управления мощностью генератора, связанный с пирометром, и систему охлаждения трубы. Известное устройство обеспечивает равномерный нагрев коаксиальных изделий, имеющих даже различную толщину по длине благодаря управлению мощностью генератора в зависимости от показаний пирометра в зоне нагрева. Однако при нагреве разнотолщинных изделий неравномерность нагрева в поперечном сечении сохраняется [1].

В основу изобретения поставлена задача создать такое устройство для последовательной закалки труб, в котором наличие новых элементов и новое расположение элементов позволило бы обеспечить возможность регулирования температуры нагрева в поперечном сечении трубы и за счет этого повысить качество закалки.

Поставленная задача достигается тем, что устройство, содержащее механизм осевого перемещения труб, соосно расположенные по вертикали многовитковый индуктор и спрейер, соединенный с индуктором генератор с блоком управления его мощностью и пирометр, соединенный с блоком, в соответствии с изобретением снабжено встречно направленными фотодатчиками, установленных между витками или за индуктором в плоскости, перпендикулярной продольной оси индуктора, при этом последний выполнен с приводами перемещения в плоскости, перпендикулярной его продольной оси, соединенными с фотодатчиками.

Равномерный нагрев разнотолщинных в поперечном сечении труб или труб, имеющих неоднородную структуру, достигается за счет перемещения индуктора в зависимости от сигнала рассогласования встречно направленных и соединенных дифференциально фотодатчиков. При этом индуктор приближается к поверхности утолщенной части трубы, имеющей более низкую температуру, и удаляется от утоненной части, имеющей более высокую температуру, тем самым перераспределяя плотность энерговыделения в трубе. Высокая точность регулирования температуры обеспечивается за счет управления расположением индуктора относительно трубы по прямому параметру - тепловому излучению.

На фиг. 1 показана функциональная схема устройства для последовательной закалки труб; на фиг.2 - расположение фотодатчиков в плоскости, перпендикулярной продольной оси трубы; на фиг.3 - график температурного режима индукционного нагрева и охлаждения канальной трубы.

Устройство содержит механизм перемещения 1 трубы 2 в осевом направлении, генератор переменного тока 3, индуктор 4, пирометр 5, блок управления мощностью генератора 6, связанный с пирометром, систему охлаждения трубы 7, механизм перемещения индуктора 8 в плоскости, перпендикулярной его продольной оси, по крайней мере две пары встречно направленных фотодатчиков 9, соединенных в каждой паре дифференциально, электрически связанных с механизмом 8 перемещения индуктора. Оптические оси датчиков лежат в плоскости, нормальной к оси трубы, равномерно по ее окружности, а сама плоскость находится на выходе трубы из индуктора.

Устройство работает следующим образом. Температуру нагрева трубы устанавливают величиной опорного сигнала в блоке управления мощностью 6 генератора 3. Включают механизм 1 перемещения трубы в осевом направлении и генератор 3 переменного тока. Труба 2 разогревается, и сигнал, получаемый с выхода пирометра 5 сравнивают с величиной опорного сигнала.

Мощность генератора 3 увеличивают или уменьшают в зависимости от знака сигнала рассогласования между сигналом пирометра 5 и опорным сигналом и, таким образом, автоматически поддерживают постоянной температуру нагрева трубы 2.

По причине разной толщины стенки или неоднородности структуры трубы при нагреве возникает разность температур в ее поперечном сечении, которую фиксируют встречно направленные пары фотодатчиков 9. Сигнал рассогласования с каждой пары фотодатчиков 9 поступает в механизм 8 перемещения индуктора 4 и в зависимости от знака сигнала рассогласования индуктор 4 с помощью механизма 8 перемещения приближается или удаляется от поверхности трубы 2 и, таким образом, автоматически поддерживается равенство температур в поперечном сечении трубы.

При нагреве трубы из циркониевого сплава Э-125 в индукторе высокочастотного генератора частотой 66 кГц глубина проникновения тока в трубу толщиной 4.3мм в 2,5 раза меньше толщины ее стенок, то есть прогрев осуществляется за счет распространения тепла теплопроводностью. Температурный режим индукционного нагрева и последующего охлаждения канальной трубы в душевом устройстве приведен на фиг.3. Максимальная температура трубы достигается вне индуктора в момент нахождения разогретого участка трубы между индуктором и зоной охлаждения (фиг.3). Выравнивание температуры по сечению трубы за счет теплопроводности, как видно из фиг.3, происходит за 1 с.

Фотодатчики могут быть расположены как в промежуточной части индуктора, так и на выходе трубы из индуктора. Расположение фотодатчиков, регистрирующих температуру в сечении, нагретом до (700-850)°С позволяет при дальнейшем нагреве до температуры 950°С, автоматическим перемещением индуктора выравнивать температуру по окружности трубы. Установка фотодатчиков в сечении, нагретом до температур (400-700)°С приводит к перегреву утолщенных участков трубы или при неоднородной структуре участков с повышенным электрическим сопротивлением. Если фотодатчики расположены в сечении, нагретом до температуры выше 850°С, то разность температур по окружности трубы лишь незначительно уменьшается. Поэтому в данной установке фотодатчики регистрируют разность температуры по окружности в сечении, нагретом до температуры 700-850°С. При разности температур по окружности более 10 °С индуктор автоматически перемещается и при дальнейшем нагреве до 950°С происходит выравнивание температуры по окружности. Как показывают измерения при точности определения температуры ±5°С фотодатчиками в диапазоне 700-850°С разность температуры участков трубы в зоне максимальной температуры составляет

±15°C.

В процессе термообработки участки трубы последовательно выходят из зоны нагрева (участок А-Б-В на фиг.1), где их температура повышается до $935 \pm 15^\circ\text{C}$ и выдерживают в течение 5-15 сек (участок ВГ, на фиг.3), где температура выравнивается по окружности. Время выдержки определяется временем полного растворения легирующих элементов в фазе циркония. Последовательно выходя из зоны нагрева, участки трубы входят в зону "закалки", где охлаждаются со скоростью $(400-1200)^\circ\text{C/с}$ струей охлаждающей воды (участок ГД).

Пример. Индукционному нагреву под закалку подвергали циркониевые трубы с наружным диаметром $88 \pm 0,7$ мм, толщиной стенки $4 \pm 0,3$ мм, длиной 8500 мм. Нагрев осуществляли подвижным в плоскости, перпендикулярной оси трубы, цилиндрическим индуктором 0 96мм и длиной 40 мм. Контроль температуры производили с помощью 4 внутренних и 4 наружных равномерно распределенных по сечению и зачеканенных одна против другой предварительно проградуированных терм(Я пар. Показания термопар записывались с помощью шлейфного осциллографа.

Результаты экспериментов по индукционному нагреву на частоте 66 кГц труб из сплавов циркония приведены в табл.1 и 2.

Из табл.1 и 2 видно, что при нагреве труб из сплава Э-125 в неподвижном индукторе перепад температур по окружности равен 72°C , а у входа в зону закалки 50°C , в подвижном индукторе перепад температур равен 22°C , а у входа в зону закалки составляет 11°C , что допустимо по технологическим условиям и нет необходимости закаленные трубы подвергать операции рихтовки,

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет повысить качество закалки путем регулирования температуры нагрева в поперечном сечении трубы,

Таблица 1

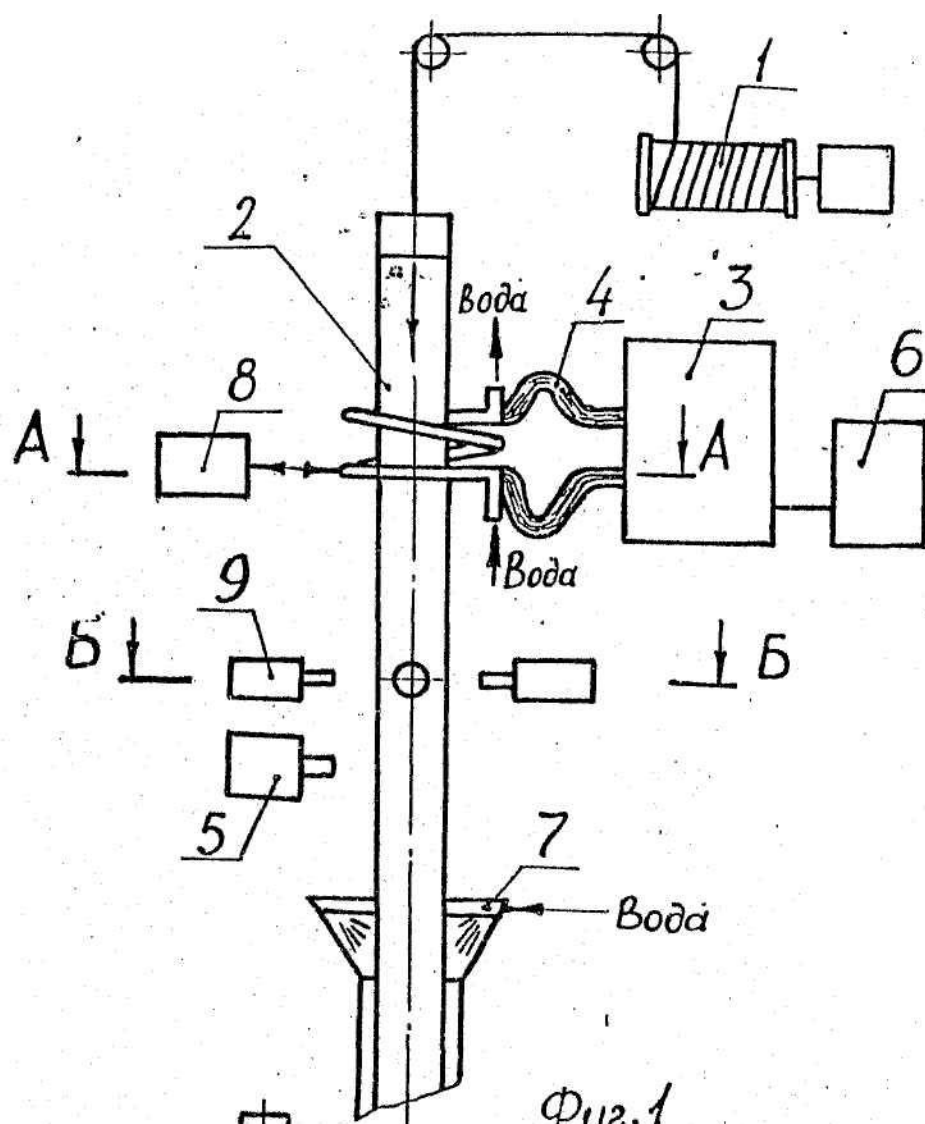
Распределение температуры на наружной и внутренней поверхности разнотолщинной трубы при ее нагреве в неподвижном индукторе (известное устройство)

Эксперимент Термопара	Температура, °C, наружной поверхности трубы в точках (1-4)		Температура, °C, внутренней поверхности трубы в точках (1-4)		Толщина трубы в точках (1-4), мм	Перепад температур по окружности, °C	
	в плоскости расположения фотодатчиков	у входа в душевое устройство	в плоскости расположения фотодатчиков	у входа в душевое устройство		в плоскости расположения фотодатчиков	у входа в душевое устройство
1.1	882	932	875	933	4,09	72	51
1.2	810	881	809	882	4,38		
1.3	821	882	810	884	4,37		
1.4	872	920	869	921	4,13		
2.1	870	925	868	926	4,11	52	33
2.2	842	908	839	909	4,25		
2.3	819	892	816	894	4,34		
2.4	855	915	852	916	4,19		

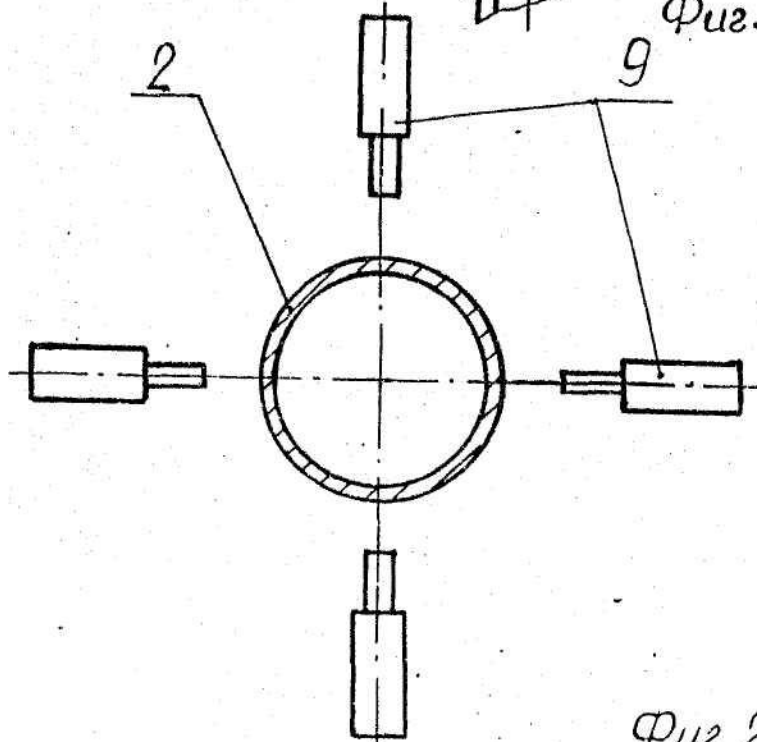
Таблица 2

Распределение температур на наружной и внутренней поверхности разнотолщинной трубы при ее нагреве в подвижном индукторе (предлагаемое устройство)

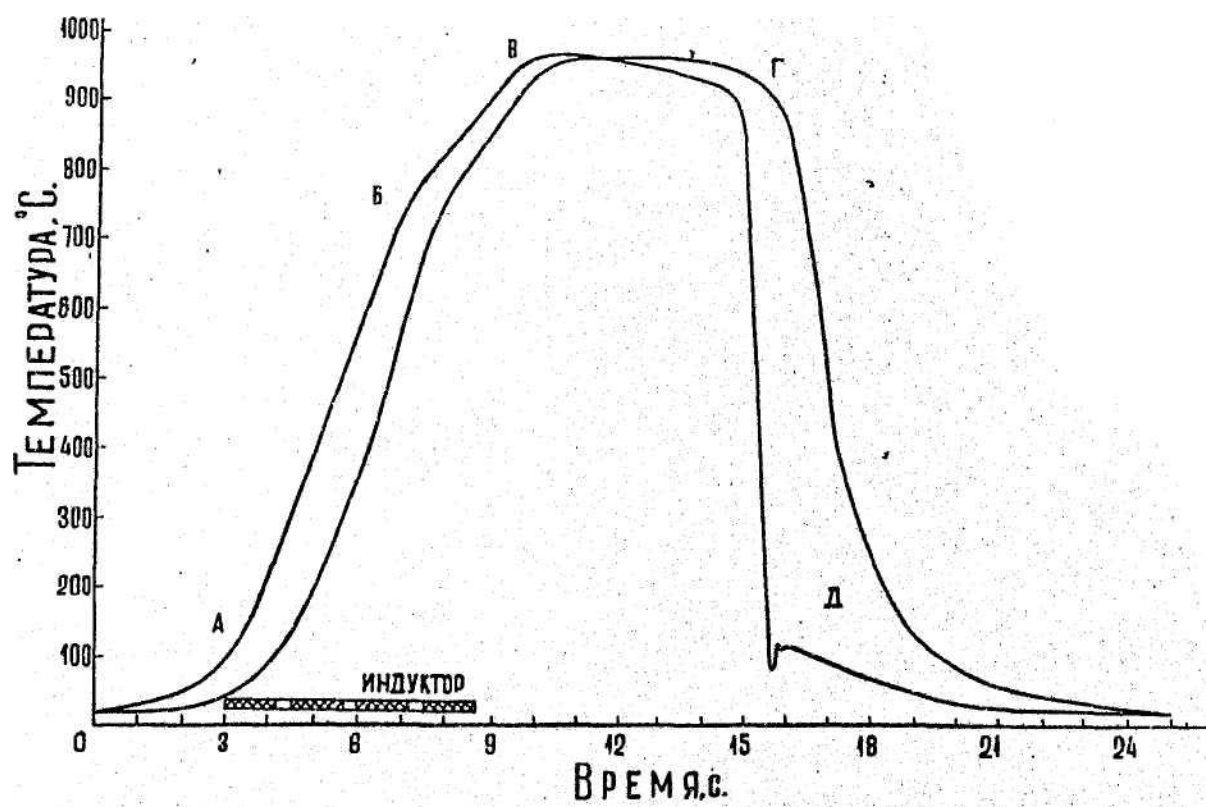
Эксперимент Термопара	Температура, °C, наружной поверхности трубы в точках (1-4)		Температура, °C, внутренней поверхности трубы в точках (1-4)		Толщина трубы в точках (1-4), мм	Перепад температур по окружности, °C	
	в плоскости расположения фотодатчиков	у входа в душевое устройство	в плоскости расположения фотодатчиков	у входа в душевое устройство		в плоскости расположения фотодатчиков	у входа в душевое устройство
1.1	829	903	827	904	4,31	22	11
1.2	839	909	836	910	4,23		
1.3	851	913	848	915	4,12		
1.4	840	909	838	910	4,21		
2.1	838	907	837	908	4,24	19	10
2.2	829	902	830	903	4,32		
2.3	840	909	838	910	4,26		
2.4	848	911	844	913	4,10		



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг.3.